ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ
PROCESSES AND MACHINES OF AGRO - ENGINEERING SYSTEMS



УДК 621.86.067.2 DOI 10.12737/19689

Исследование влияния параметром электрического питания на производительность вибрационного дозатора с электромагнитным приводом*

Т. И. Тупольских[1], Н. В. Гучева[2]**

[1,2] Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Investigation of power supply parameter effect on performance of vibrator meter with magnetic actuator***

T. I. Tupolskikh[1], N.V. Gucheva[2]**

[1,2] Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Целью работы является изучение изменения точности дозирования вибрационного дозатора с электромагнитным приводом при питании от промышленной электрической сети. Использованы ранее полученные авторами результаты зависимости производительности вибрационного дозатора от частоты, амплитуды и направления колебаний электромагнитного привода и свойств дозируемого материала. Эти зависимости были получены на экспериментальной установке со стабилизированными параметрами электропитания. Установлено, что питание вибрационного побудителя от промышленной электрической сети существенным образом (до 5%) влияет на отклонение производительности вибрационного дозатора от заданной, что может стать недопустимым при дозировании ингредиентов, требующих более высокой точности. Для устранения неконтролируемых отклонений производительности дозатора от случайных изменений напряжения и частоты необходимо использовать стабилизированный по напряжению и частоте источник питания электромагнита побудителя колебаний.

Ключевые слова: дозирование, вибрационный дозатор, электромагнитный привод, электрическая сеть, точность дозирования.

The work objective is to study dosing accuracy changes of the vibration measurer with an electromagnetic drive powered by the industrial network. The previously obtained dependences of the vibration measurer performance on the vibration frequency, amplitude and direction of the magnetic actuator, and on the properties of the dispensed material are used. These relationships are obtained at the pilot plant with the stabilized power settings. It is found that the supply from the vibration agitator of the industrial network significantly (up to 5%) affects the vibrator meter performance deviation from the given one that may become unacceptable when dispensing the ingredients requiring higher accuracy. To eliminate uncontrolled deviations of the dispenser performance from the stochastic variations of voltage and frequency, a voltage- and frequency-stabilized supply of the vibration activator electromagnet should be used.

Keywords: dispensing, vibration measurer, magnetic actuator, power network, metering accuracy.

Введение. Результаты расчета убытков, причиняемых ежегодно экономике США перерывами в подаче напряжения и отклонениями параметров качества электроэнергии, показали, что экономика страны теряет от 104 до 164 млрд долларов. Если допустить, что ущерб от качества электроэнергии в России примерно такой же, то теоретически можно предположить потери порядка 37 млрд долларов ежегодно (по уровню цен 2012 г) [1, 2]. Весьма значителен ущерб от нарушения качества электроснабжения особенно в отраслях непрерывного цикла. К таким производствам относится и комбикормовая промышленность с процессом дозирования тонких ингредиентов.

Изменение напряжения (разнопеременное, одиночное, быстрое, случайное прерывание, провал и перенапряжение), частоты напряжения влияют на привод дозатора, что ведет к нарушению точности дозирования и качества комбикор-

* Работа выполнена в рамках инициативной НИР.

**E-mail: tupolskix@mail.ru, ngucheva@gmail.com

***The research is done within the frame of the independent R&D.

мов иногда до недопустимых пределов. Поэтому исследование влияния качества электропитания вибрационного дозатора является весьма актуальным.

В работах [3, 4] представлены результаты исследований вибрационного дозатора. Вибрационный дозатор состоял из вибрационного лотка и бункера, которые имели гибкую связь между собой и подвергались вибрационному воздействию от единого источника колебаний. Источником колебаний был электромагнит, питание которого осуществлялось от генератора низкочастотных колебаний. Тяговая сила электромагнита зависела от величины тока в обмотке и частоты питающего напряжения. Дозатор находился в цехе при постоянных значениях температуры и влажности и дозировал модельный материал. На рис. 1 представлено отклонение производительности дозатора от среднего значения в зависимости от времени суток при непрерывной работе.

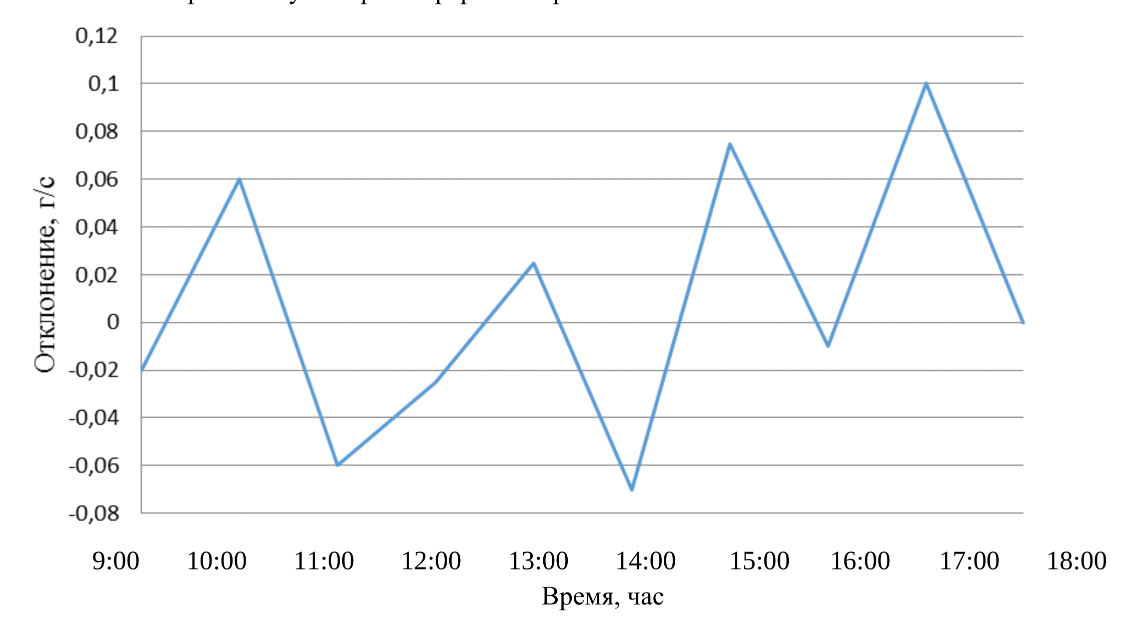


Рис. 1. Отклонение производительности дозатора от среднего значения *q*= 9,92 г/с
при частоте колебаний ω=314,15 с$^{-1}$ от времени суток

Одними из факторов отклонения являются флуктуации частоты и напряжения в питающей электрической сети. Значительные отклонения наблюдались после 15.00 часов, когда в сети наибольшие нагрузка, падение напряжения и изменение частоты.

В работах [3,4] производительность вибрационного бункера и вибрационного лотка определялась по формуле:

$$q_r = 0{,}375A^2(A\omega\cos\beta)\left(\frac{g\cos(\phi-\alpha)}{A\omega^2\sin\beta\cos\phi}\right)^{-0{,}2}\left(\frac{S}{A^2}\right)^{1{,}08}\sin^{0{,}16}\beta\cos^{0{,}76}\beta\,, \tag{1}$$

где *A* — амплитуда колебаний, м; ω — круговая частота колебаний, c^{-1}; β — угол направления колебаний, град; α — угол наклона к горизонту дна лотка, град; φ — угол трения продукта о материал дна лотка, град; *S* — площадь выпускного отверстия в бункере, м^2.

Зависимость (1) получена для дозируемого материала с эквивалентным диаметром частиц $d_{экв} = 2{,}75\cdot10^{-3}\,м$.

Если все параметры, входящие в выражение для производительности лотка постоянные величины, то вычисленная производительность будет совпадать с реальной производительностью лотка. Постоянные параметры — это угол положения лотка к горизонту α, угол направления колебаний β, площадь *S* выпускного отверстия в бункере. Для партии дозируемого материала угол трения φ продукта о материал можно принять постоянным.

В выражение (1) входят два параметра, представляющие собой случайные величины — частота колебаний ω и амплитуда колебаний А.

В производственных условиях электромагнит, приводящий систему в колебательное движение, питается обычно от промышленной электрической сети, в которой частота и напряжение не являются постоянными величинами.

Допустимые и предельные значения частоты и напряжения регламентируются в Российской федерации ГОСТ 32144–2013 и ГОСТ 29322–92, в которых требования к напряжению согласованы с МЭК 38–83; в Европейском союзе — IEC (МЭК) [5, 6]; в США — NIST (Национальным институтом стандартов и технологий) [7]. В таблице 1 представлены параметры электросетей.

Таблица 1

Стандарты напряжений в разных странах [8]

Страна	Напряжение, В	Частота, Гц
Россия	220±10% (230…240 фактически)	50 ±0,2
Франция (ЕС)	230±10%	50
США	120± 5%(114…126 фактически)	60

Для частоты сети f_c по ГОСТ 13109–97 [9] определено:

$$f_c = 50 \pm 0{,}2\,Гц$$

На рис. 2 показано изменение частоты питающего напряжения в Объединенной энергетической системе Республики Беларусь [10].



Рис. 2. Изменение частоты питающего напряжения
Объединенной энергетической системы Республики Беларусь

Из графика следует, что частота сети является величиной переменной и случайной.

Для определения влияния изменения параметров питающей сети на точность дозирования необходимо знать статистические характеристики этого случайного процесса. Поскольку в доступных информационных источниках таких данных нет, то статистические характеристики случайных изменений напряжения и частоты сети определялись из нижеизложенных соображений.

Среднее значение частоты $\bar{f} = 50\,Гц$. Можно считать, что случайные изменения частоты подчиняются нормальному закону распределения. Тогда среднеквадратичное значение $\sigma_ч = 0{,}067$ при доверительной вероятности $P = 0{,}95$. Выбор доверительной вероятности определили по точности приборов измерения частоты, которая рекомендуется указанным стандартом. Она составила 0,4%.

Для напряжения сети допустимые значения $U_c = 220 \pm 22\,В$.

Среднее значение напряжения $\bar{U} = 220\,В$. Можно допустить, что случайные изменения напряжения подчиняются закону нормального распределения. Тогда среднеквадратичное значение распределения $\sigma_н = 7{,}33\,В$ при доверительной вероятности $P = 0{,}95$.

Согласно ГОСТ 32144–2013, в течение не менее 95 % времени каждых суток фазное напряжение и частота должны находиться в указанном диапазоне, а коэффициент несинусоидальности не должен превышать 5 %.

Остальные 5 % или менее времени каждых суток напряжение может изменяться от 198 до 242 В (отклонение 10 %), частота от 49,6 до 50,4 Гц, а коэффициент несинусоидальности должен быть не более 10 %. Допускаются также более сильные изменения частоты — от 49,5 до 51,0 Гц, но общая длительность таких изменений не должна превышать 90 часов за год.

Промышленная частота питающего напряжения не влияет на тяговую силу электромагнита, от которой зависит амплитуда колебаний системы дозирования. Тяговая сила магнита зависит от активной составляющей тока, протекающего по виткам катушки электромагнита. Активная составляющего тока через катушку электромагнита прямо пропорционально напряжению питания по закону Ома. Поэтому допускаем, что случайные изменения питающего напряжения линейно влияют на амплитуду колебаний системы (рис. 3). Изменения амплитуды колебаний подчиняются закону нормального распределения [11].

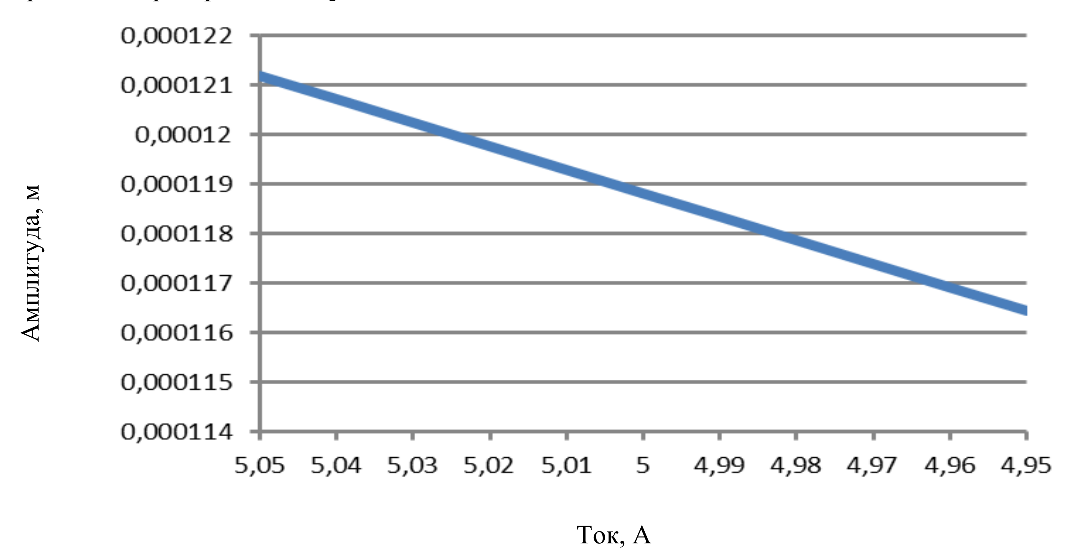


Рис. 3. Изменение амплитуды колебаний в зависимости от тока электромагнита.
Номинальный ток 5 А

Исследуем случай работы вибрационного дозатора при ускорении колебаний $\alpha = 12 м/c^2$. Тогда среднее значение амплитуды колебаний при частоте колебаний $f_a = 314{,}15 c^{-1}$ будет $\overline{A} = 0{,}000122 м$. Расчеты тяговой силы электромагнита показали, что при доверительной вероятности $P = 0{,}95$ и нормальном законе распределения среднеквадратическое значение параметра распределения значений амплитуды $\sigma_a = 2 \cdot 10^{-6} м$. Размах амплитуды составил $A = 1{,}22 \cdot 10^{-4} \pm 6 \cdot 10^{-6} м$.

Поскольку вибрационный лоток является конечным рабочим органом в системе, то он и определяет производительность и точность дозирования.

Определим зависимость изменения амплитуды колебаний от изменения напряжения сети и частоты колебаний на девиацию производительности лотка и на точность дозирования.

В производственных условиях устанавливаются параметры вибрации, толщина слоя, а физические свойства материала принимаются постоянными для партии дозируемого материала и после этого прогнозируется производительность дозатора. При дозировании другой партии материала при тех же параметрах дозатора учитываются физические свойства материала партии изменением, например, ускорения колебаний.

Для решения поставленной задачи воспользуемся теорией ошибок [11]. Теория ошибок не исследует систематические ошибки, а рассматривает только случайные ошибки. Случайные ошибки могут иметь различные законы распределения. Однако практически в подавляющем большинстве случаев принимается, что случайная ошибка распределена по нормальному закону [11].

В соответствие с постулатом Гаусса, наиболее вероятным значением искомой величины является среднее арифметическое значение наблюдаемых значений. Если случайные ошибки удовлетворяют постулату Гаусса, то законом распределения случайных ошибок является нормальный закон [11].

В случае вибрационного дозирования под ошибкой дозирования понималось отклонение текущего значения производительности от расчетного. Причиной ошибки дозирования являлось случайное изменение напряжения и частоты промышленной электрической сети, определяемые нормальными законами распределения изменения этих величин.

Если производительность дозатора определяется функцией (1), то ее можно представить в виде: $q_r = f(A, \omega, \alpha, \beta, \phi, S)$. Принято, что в процессе дозирования α, β, ϕ, S остаются постоянными. Случайные величины

A,ω и их наивероятнейшие значения $\bar{A},\bar{\omega}$, а σ_ω,σ_A — соответствующие среднеквадратические ошибки при нормальном законе распределения этих величин. Отсюда следует, что наиболее вероятным значением q_r является:

$$q_r = f(\bar{A},\bar{\omega},\alpha,\beta,\phi,S)$$

По теории ошибок, при принятых допущениях среднеквадратическая ошибка девиации производительности:

$$\sigma_q = \sqrt{\left(\frac{\partial q_r}{\partial A}\right)^2 \sigma_A^2 + \left(\frac{\partial q_r}{\partial \omega}\right)^2 \sigma_\omega^2} \qquad (2)$$

Частные производные производительности вибрационного дозатора по амплитуде и частоте колебаний:

$$\frac{\partial q_r}{\partial A} = 1{,}04A^{0{,}04}(N) \qquad \frac{\partial q_r}{\partial \omega} = 0{,}6\omega^{-0{,}04}(N_1),$$

где

$$N = 0{,}375\omega cos\beta\left(\frac{g\,cos(\phi-\alpha)}{\omega^2 sin\beta cos\phi}\right)^{-0{,}2} S^{1{,}08} sin^{0{,}16}\beta cos^{0{,}76}\beta$$

$$N_1 = 0{,}375A^2(A cos\beta)\left(\frac{g\,cos(\phi-\alpha)}{A sin\beta cos\phi}\right)^{-0{,}2}\left(\frac{S}{A^2}\right)^{1{,}08} sin^{0{,}16}\beta cos^{0{,}76}\beta,$$

Для случая, когда:

$$\bar{A} = 0{,}000122м,\ \sigma_A = 2{,}00E-06м,$$

$$\bar{\omega} = 314{,}15c^{-1} \quad \sigma_\omega = 6{,}70E-02c^{-1},$$

$$\alpha = 0^0 \quad \beta = 20^0 \quad \phi = 20^0 \quad S = 0{,}012м^2$$

Вычисляя q_r из выражения (1) и σ_q из выражения (2) получаем:

$$q_r = 2{,}70E-05м^3/c \quad \sigma_q = 4{,}61E-07м^3/c.$$

При доверительной вероятности $P = 0{,}95$ производительность вибрационного дозатора будет находиться в диапазоне:

$$q_r = 2{,}70E-05^{+0{,}138E-05}_{-0{,}138E-05}м^3/c$$

Экспериментальное значение производительности вибрационного питателя при таких параметрах составило — $q_r = 3{,}10E-05м^3/c$ [4].

В случае, когда электромагнитный привод вибрационного дозатора используется в электрической сети с другой частотой питания, например, 60 Гц ($\omega = 376{,}98c^{-1}$) производительность дозатора увеличивается. В соответствие с (2) увеличивается и девиация производительности.

Выводы. Изменение напряжения и частоты питания вибрационного побудителя существенным образом (до 5%) влияет на производительность вибрационного дозатора. Для устранения неконтролируемых изменений производительности дозатора от случайных изменений напряжения и частоты источника питания необходимо стабилизированное питание по напряжению и частоте электромагнита побудителя колебаний. При питании от промышленной электрической сети необходима система управления производительностью дозатора.

Библиографический список

1. Денисов, В. И. Основы рыночных отношений в электроэнергетике / В. И. Денисов, А. А. Дзюба // Электрические станции. — 2003. — №8. — С.13–18.

2. Бровкина, Ю. Как много теряет экономика на качестве электроэнергии? / Ю. Бровкина // ЭнергоРынок. — 2013. — № 10. — С.37–39.

3. Тупольских, Т. И. Производительность вибрационного лотка дозатора и параметры вибрирования / Т. И. Тупольских // Донской гос. техн. ун-т. Ростов-на-Дону. — 2000, 6 с.; 5 библ. — Рус. Деп. в ВИНИТИ, 09.02.00 №300-В00.

4. Тупольских, Т. И. Исследование технологического процесса работы вибрационного питателя с бункером / Т. И. Тупольских, В. Д. Ильченко // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2001. — Т.1, №3(9). — С. 56–65.

5. Международные стандарты и оценка соответствия для всех электрических, электронных и смежных технологий [Электронный ресурс] / Международная Энергетическая Комиссия. — Режим доступа : http://www.iec.ch/dyn/www/f (дата обращения : 07.11.2015).

6. ГОСТ Р 50571–4–44–2011 (МЭК 60364–4–442007). Электроустановки низковольтные. Часть 4–44. Требования по обеспечению безопасности. Защита от отклонений напряжения и электромагнитных помех. — Введ. 2012–07–01. — Москва : Стандартинформ, 2012. — 48 с.

7. Allan C. Breller. Global Quality Manager and Six Sigma Champion/ EKC Technology DuPont Electronics and Communications. 2520 BarringtonCourtHayward, CA 94545.

8. Electric current abroad. U.S. Department of Commerce International Trade Administration, February 2002.

9. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. — Введ. 2014–07–01. — Москва : Стандартинформ, 2014. — 19 с.

10. Оперативная работа в электроэнергетике / Энергодиспетчер. — Режим доступа : http://www.operby.com (дата обращения: 09.11.2015).

11. Гутер, Р. С. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта / Р. С. Гутер, Б. В. Овчинский. — Москва : Физматгиз, 1962. — 356 с.

References

1. Denisov, V.I., Dzyuba, A.A. Osnovy rynochnykh otnosheniy v elektroenergetike. [Basics of market relations in the power industry.] Power Technology and Engineering, 2003, no. 8, pp. 13–18 (in Russian).

2. Brovkina, Y. Kak mnogo teryaet ekonomika na kachestve elektroenergii? [How much does economy lose on power quality?] EnergoRynok, 2013, no. 10, pp. 37–39 (in Russian).

3. Tupolskikh, T.I. Proizvoditel'nost' vibratsionnogo lotka dozatora i parametry vibrirovaniya. [Performance of dispenser vibrating chute and vibration parameters.] Don State Technical University, Rostov-on-Don, 2000, 6 p.; VINITI, Russ.Dep., 09.02.00 №300-B00 (in Russian).

4. Tupolskikh, T.I., Ilchenko, V.D. Issledovanie tekhnologicheskogo protsessa raboty vibratsionnogo pitatelya s bunkerom. [Study on the process of the vibration hopper-feeder operation.] Vestnik of DSTU, 2001, vol. 1, no. 3(9), pp. 56–65 (in Russian).

5. Mezhdunarodnye standarty i otsenka sootvetstviya dlya vsekh elektricheskikh, elektronnykh i smezhnykh tekhnologiy. [International Standards and Conformity Assessment for all electrical, electronic and related technologies.] International Energy Commission. Available at: http://www.iec.ch/dyn/www/f (accessed: 07.11.2015) (in Russian).

6. GOST R 50571–4–44–2011 (MEK 60364–4–442007). Elektroustanovki nizkovol'tnye. Chast' 4–44. Trebovaniya po obespecheniyu bezopasnosti. Zashchita ot otkloneniy napryazheniya i elektromagnitnykh pomekh. — Vved. 2012–07–01. [GOST R 50571-4-44-2011 (MEK 60364-4-442007). Low-voltage electrical installations. Part 4-44. Safety requirements. Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances. Intr. 2012–07–01.] Moscow: Standartinform, 2012, 48 p. (in Russian).

7. Allan C. Breller. Global Quality Manager and Six Sigma Champion. EKC Technology DuPont Electronics and Communications. 2520 BarringtonCourtHayward, CA 94545.

8. Electric current abroad. U.S. Department of Commerce International Trade Administration, February 2002.

9. GOST 32144-2013. Elektricheskaya energiya. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoy energii v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya. — Vved. 2014–07–01. [GOST 32144-2013. Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems. Intr. 2014–07–01.] Moscow: Standartinform, 2014, 19 p. (in Russian).

10. Operativnaya rabota v elektroenergetike. [Operational work in the power industry.] Power dispatcher. Available at: http://www.operby.com (accessed: 09.11.2015) (in Russian).

11. Guter, R.S., Ovchinskiy, B.V. Elementy chislennogo analiza i matematicheskoy obrabotki rezul'tatov opyta. [Elements of numerical analysis and mathematical processing of the experimental results.] Moscow: Fizmatgiz, 1962, 356 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 11.01.2016
Сдана в редакцию 12.01.2016
Запланирована в номер 23.03.2016